

**PENGARUH VARIASI KONSENTRASI BESI (Fe^{3+})
DALAM KOMPOSIT ZEOLIT ALAM-KITOSAN DAN ZEOLIT
SINTESIS-KITOSAN TERHADAP PERFORMANYA SEBAGAI
PUPUK *SLOW RELEASE***

SKRIPSI

**Untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat Sarjana Kimia**



Oleh:

Riska Diani

21106030055

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA
2025**



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-1110/Un.02/DST/PP.00.9/06/2025

Tugas Akhir dengan judul : PENGARUH VARIASI KONSENTRASI BESI (Fe^{3+}) DALAM KOMPOSIT ZEOLIT ALAM-KITOSAN DAN ZEOLIT SINTESIS-KITOSAN TERHADAP PERFORMANYA SEBAGAI PUPUK SLOW RELEASE

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : RISKHA DIANI
Nomor Induk Mahasiswa : 21106030055
Telah diujikan pada : Kamis, 05 Juni 2025
Nilai ujian Tugas Akhir : A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang

Priyagung Dheni Widiakongko, M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 684f8b77a4496



Penguji I

Prof. Dr. Susy Yunita Prabawati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 6847bc31910f4



Penguji II

Khamidinal, S.Si., M.Si
SIGNED

Valid ID: 6850e875bacc7



Yogyakarta, 05 Juni 2025
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 6850fb5b86b5

PENGESAHAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR



Universitas Islam Negeri Sunan
FM-UINSK-BM-05-03/R0



Kalijaga

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan Skripsi / Tugas Akhir
Lamp : -

Kepada
Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, menditi, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Riska Dianl
NIM : 21106030055
Judul Skripsi : Pengaruh Konsentrasi Penambahan Mikronutrien Besi (Fe^{3+}) Terhadap Komposit Zeolit Alam-Kitosan dan Zeolit Sintesis-Kitosan terhadap Performanya Sebagai Pupuk *Slow release*

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Program Studi Kimia.

Dengan ini kami berharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqasyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 27 Mei 2025
Pembimbing

Priyagung Dhermi Widiakongko, M. Sc.
NIP: 19900330 201903 1 008

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN PERNYATAAN

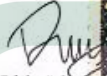
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Riska Diani
NIM : 21106030055
Jurusan : Kimia
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **"Pengaruh Konsentrasi Penambahan Mikronutrien Besi (Fe^{3+}) Terhadap Komposit Zeolit Alam-Kitosan dan Zeolit Sintesis-Kitosan terhadap Performanya Sebagai Pupuk *Slow release*"** merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjana di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 28 Mei 2025


Riska Diani
NIM. 21106030055



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN MOTO

“Aku tidak tertarik dengan hal-hal lain. Aku hanya orang bodoh yang ingin mengetahui semua rahasia dunia dan alam semesta. Menyerah adalah hal yang paling tidak logis. Sejauh apapun itu, jika kita mengikuti tahapan, maka sepuluh miliar persen kita akan sampai tujuan. Itulah sains”

(Ishigami Senku)

“Tidak semua orang didunia ini bisa memahami niat kita sebenarnya. Mereka tidak terlalu tertarik kepada kita. Jadi, tidak perlu menjelaskan sesulit apa hidup kita atau sekeras apa usaha kita. Kita hanya melakukan yang selalu kita lakukan dan hidup seperti biasanya. Dan terus maju diam-diam apapun kata orang”

(Kim Sabu)

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'alamin, Segala puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Variasi Konsentrasi Besi (Fe^{3+}) Dalam Komposit Zeolit Alam-Kitosan dan Zeolit Sintesis-Kitosan Terhadap Performanya Sebagai Pupuk *Slow release*” sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan jenjang strata 1 (S1) pada Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Uin Sunan Kalijaga Yogyakarta.

Penulis menyadari bahwa dalam proses penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari bantuan, dukungan, dan dorongan berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak terkait. Ucapan terima kasih tersebut secara khusus penulis sampaikan kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. Ibu Prof. Dr. Maya Rahmayanti, S.Si., M.Si. selaku Ketua Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Kalijaga.
3. Bapak Priyagung Dhemi Widiakongko, M. Sc. selaku dosen Pembimbing skripsi yang telah membimbing dan mengarahkan serta sabar dalam memberikan masukan selama proses penelitian serta memberikan motivasi dan dukungan untuk penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Bapak Karmanto, S.Si., M.Sc selaku dosen Pembimbing Akademik yang selalu sabar dan sigap merespon pertanyaan dari penulis selama menjalankan perkuliahan.
5. Seluruh Dosen Program Studi Kimia yang telah memberikan ilmu dan bimbingan sejak awal hingga akhir perkuliahan.
6. Segenap Pranata Laboratorium Pendidikan (PLP) Laboratorium Laboratorium Kimia dan Teknik Industri UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta yang telah medampingi dan membantu selama pelaksanaan penelitian.

7. Almarhumah kai yang telah mendukung dan mendoakan penulis selama menempuh pendidikan.
8. Abah, Mama, dan Nini yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan kepada penulis hingga penulis dapat menyelesaikan pendidikan. Mereka memang tidak pernah menempuh pendidikan di perguruan tinggi namun mereka selalu memberikan yang terbaik bagi penulis dan mampu mengantar penulis hingga penulis mampu meraih gelar sarjana. Semoga kebaikan kalian mendapat balasan yang terbaik di dunia dan akhirat kelak.
9. Teman-teman dekat penulis, teman-teman Asrama Candi Agung yang tidak dapat dituliskan satu-satu yang telah memberikan semangat, dan mendengarkan keluh kesah penulis.
10. Jeon Jungkook dan seluruh member BTS yang selalu memberikan semangat dan membuat penulis merasa bahagia melalui lagu-lagu mereka, terimakasih untuk lagu magic shop, 00.00 O'clock, microkosmos, dan banyak lagu lainnya yang membantu penulis melewati masa- masa sulit.
11. Seluruh tema-teman Program Studi Kimia Angkatan 2021 (*Scandium*) dan seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah memberikan kenangan dan dukungan kepada penulis selama perkuliahan.

Yogyakarta, 27 Mei 2025

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA


Penulis

HALAMAN PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim, skripsi ini penulis mempersembahkan kepada:

Diri sendiri yang selalu berusaha menjadi lebih baik dari hari kemarin, tidak banyak mengeluh, dan selalu memberikan yang terbaik hingga detik ini.

Kepada kedua orang tua yang ada di Amuntai yang selalu memberikan semangat, doa, dukungan dan selalu mendengarkan penulis sehingga berhasil menyelesaikan pendidikan di bangku perkuliahan

Almamater tercinta
Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi,
Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PENGESAHAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN MOTO	v
KATA PENGANTAR.....	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
ABSTRAK	xiv
ABSTRACT	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Batasan Masalah	4
C. Rumusan Masalah	5
D. Tujuan Penelitian	5
E. Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	7
A. Tinjauan Pustaka	7
B. Landasan Teori	14
C. Kerangka Berpikir dan Hipotesis Penelitian	25
BAB III METODE PENELITIAN	27
A. Waktu dan Tempat Penelitian	27
B. Alat-alat Penelitian	27
C. Bahan Penelitian	27
D. Cara Kerja Penelitian.....	28
E. Analisis Data.....	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	32
A. Sintesis Zeolit	32
B. Karakterisasi Zeolit.....	33
C. Hasil Kajian Uji Lepas Lambat Pupuk <i>Slow Release</i>	37
BAB V PENUTUP	47
A. Kesimpulan	47
B. Saran	48

DAFTAR PUSTAKA.....	49
LAMPIRAN	57



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Mekanisme penyerapan unsur hara oleh tanaman	15
Gambar 2.2.	Struktur dasar zeolite	17
Gambar 2.3.	Struktur molekul zeolit	18
Gambar 2.4.	Proses kristalisasi fasa padat zeolit menggunakan metode hidrotermal.....	20
Gambar 2.5.	Sistem peralatan spektroskopi FTIR	21
Gambar 2.6.	Prinsip kerja spektrofotometer UV-Vis.....	24
Gambar 2.7.	Panjang gelombang pada UV dan Visibel	24
Gambar 4.1.	Sistematika sintesis zeolit menggunakan metode hidrotermal	33
Gambar 4.2.	Spektrum inframerah zeolit alam dan zeolit sintesis .	34
Gambar 4.3.	Perbandingan pelepasan Fe^{3+} pada pupuk slow release dan pupuk komersial.....	39
Gambar 4.4.	Pengaruh konsentrasi Fe^{3+} yang dilepaskan oleh komposit dalam larutan asam sitrat 0,33 M.....	44

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Pola spektra IR pada zeolit.....	19
Tabel 4.1.	Hasil analisis surface area zeolit sintesis dan zeolit alam	36
Tabel 4.2.	Total kadar Fe^{3+} yang diserap dari komposit.....	40
Tabel 4.3.	Jumlah Fe^{3+} yang dilepaskan komposit selama 24 jam	42



DAFTAR LAMPIRAN

A.	Hasil analisis <i>surface area analyzer</i> (SAA).....	57
B.	Perhitungan porositas matriks	60
C.	Pembuatan larutan baku standar Fe^{3+} 100 ppm.....	61
D.	Pembuatan larutan standar 20, 40, 60 dan 80 ppm	61
E.	Perhitungan kadar Fe^{3+} yang terserap dalam satu gram komposit. 63	
F.	Perhitungan jumlah Fe^{3+} yang dilepaskan komposit zeolit alam – kitosan dalam variasi konsentrasi medium asam sitrat 20 mL dalam waktu 24 jam	66
G.	Perhitungan jumlah Fe^{3+} yang dilepaskan komposit zeolit sintesis –kitosan dalam variasi konsentrasi medium asam sitrat 20 mL dalam waktu 24 jam	72
H.	Dokumentasi	78

ABSTRAK

**PENGARUH VARIASI KONSENTRASI BESI (Fe^{3+}) DALAM
KOMPOSIT ZEOLIT ALAM-KITOSAN DAN ZEOLIT
SINTESIS-KITOSAN TERHADAP PERFORMANYA SEBAGAI
PUPUK *SLOW RELEASE***

Oleh:

Riska Diani

21106030055

Dosen Pembimbing:

Priyagung Dhemi Widiakongko, M.Sc

Pupuk *slow release* memiliki mekanisme pelepasan secara *slow release* yang mana mikro maupun makronutrien akan dilepaskan secara bertahap sesuai kebutuhan tanaman sehingga nutrisi yang tidak terserap oleh tanaman tidak menimbulkan residu ataupun limbah samping hasil pemupukan ke lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik gugus penyusun, luas permukaan, lebar pori, dan volume pori zeolit alam dan zeolit sintesis sebagai matriks pupuk *slow release*. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui mekanisme pelepasan Fe^{3+} dan pengaruh konsentrasi Fe^{3+} terhadap sistem komposit zeolit-kitosan terhadap penyerapan dan pelepasan Fe^{3+} . Penelitian ini dilakukan dengan 4 tahapan yaitu sintesis matriks pupuk *slow release* berupa zeolit sintesis, karakterisasi matriks pupuk *slow release*, pembuatan komposit pupuk *slow release* dan uji adsorpsi serta desorpsi komposit pupuk *slow release*. Hasil yang didapatkan yaitu spektrum inframerah zeolit alam menunjukkan puncak serapan pada 437, 465, 694, 778, 796, 1039, 3435, dan 3580 cm^{-1} , sedangkan zeolit sintesis pada 433, 459, 662, 687, 994, 1104, 1653, dan 3473 cm^{-1} . Zeolit sintesis memiliki luas permukaan, volume pori, dan porositas lebih tinggi dibandingkan zeolit alam, sehingga lebih efektif sebagai matriks pupuk lepas lambat. Pelepasan Fe^{3+} paling stabil terjadi pada konsentrasi 40 ppm, dan semakin tinggi konsentrasi Fe^{3+} dalam komposit, semakin besar pula kemampuan penyerapan dan pelepasannya

Kata kunci : *Pupuk slow release, zeolit, Fe^{3+}*

ABSTRACT
THE EFFECT OF IRON (Fe^{3+}) CONCENTRATION
VARIATIONS IN NATURAL ZEOLITE-CHITOSAN AND
SYNTHESIS ZEOLITE-CHITOSAN COMPOSITES ON THEIR
PERFORMANCE AS SLOW RELEASE FERTILIZER

By:

Riska Diani

21106030055

Advisor:

Privagung Dhemi Widiakongko, M.Sc

Slow release fertilizer has a slow release mechanism where micro and macronutrients will be released gradually according to plant needs so that nutrients that are not absorbed by plants do not cause residue or side waste from fertilization into the environment. This study aims to determine the characteristics of the constituent groups, surface area, pore width, and pore volume of natural zeolite and synthetic zeolite as a slow release fertilizer matrix. In addition, this study also aims to determine the mechanism of Fe^{3+} release and the effect of Fe^{3+} concentration on the zeolite-chitosan composite system on the absorption and release of Fe^{3+} . This study was conducted in 4 stages, namely the synthesis of a slow release fertilizer matrix in the form of synthetic zeolite, characterization of the slow release fertilizer matrix, manufacture of slow release fertilizer composites and adsorption and desorption tests of slow release fertilizer composites. The results obtained are that the infrared spectrum of natural zeolite shows absorption peaks at 437, 465, 694, 778, 796, 1039, 3435, and 3580 cm^{-1} , while synthetic zeolite at 433, 459, 662, 687, 994, 1104, 1653, and 3473 cm^{-1} . Synthetic zeolite has a higher surface area, pore volume, and porosity than natural zeolite, making it more effective as a slow-release fertilizer matrix. The most stable release of Fe^{3+} occurs at a concentration of 40 ppm, and the higher the concentration of Fe^{3+} in the composite, the greater the absorption and release capacity.

Keywords: *Slow release fertilizer, zeolite, Fe^{3+}*

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Seiring dengan peningkatan populasi, maka permintaan akan produk pangan semakin meningkat. Kebutuhan ini tidak hanya terjadi pada produk hewani, tetapi juga pada produk nabati. Seringkali, untuk memenuhi kebutuhan pasar, para petani melakukan pemupukan secara berlebihan untuk mempercepat pertumbuhan tanaman dan meningkatkan hasil panen. Pupuk merupakan komponen penting dalam pertumbuhan tanaman karena menyediakan unsur hara yang dibutuhkan tanaman. Kekurangan atau defisiensi unsur hara dapat menyebabkan gangguan pertumbuhan dan mengganggu hasil panen bahkan gagal panen yang dapat menimbulkan kerugian ekonomi yang cukup besar (Qur'ainia *et al.*, 2023).

Unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman terbagi menjadi dua yaitu makronutrien dan mikronutrien. Makronutrien merupakan unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman dalam jumlah yang banyak dan biasanya terbentuk secara alami di lingkungan seperti N, S, P, K, Ca, dan Mg. Mikronutrien merupakan unsur hara yang dibutuhkan dalam jumlah yang sedikit oleh tanaman, biasanya merupakan unsur logam seperti Fe, Mn, Mo, Cu, Zn, Zl, dan Co (Seseray dan Santoso, 2013). Kedua jenis unsur hara ini sering ditambahkan ke dalam komposisi pupuk. Pemberian pupuk ke dalam tanah yang bertujuan untuk memperbaiki ataupun meningkatkan kualitas tanah agar tanaman dapat tumbuh dengan optimal disebut pemupukan (Kusumawati, 2021). Namun,

kelebihan makro dan mikronutrien ini dapat menyebabkan pencemaran lingkungan karena akan terbawa ke perairan. Saat ini telah banyak dilakukan pengembangan untuk mengefisiensikan penggunaan pupuk seperti penggunaan pupuk *slow release* dan *biochar* (Verdiana *et al.*, 2016).

Pupuk *slow release* pada dasarnya terdiri atas komponen matriks, pengikat, dan filler nutrisi. Beberapa penelitian telah dilakukan dalam modifikasi pembuatan matriks pupuk *slow release* seperti material arang pada pupuk *slow release* nitrat (Zhao *et al.*, 2023), material pasir untuk pupuk ZnO (Kolencik *et al.*, 2022), dan zeolit untuk penyerapan Fe (Secha *et al.*, 2019). Pembuatan matriks pupuk *slow release* seringkali menggunakan material berpori seperti zeolit untuk menyimpan nutrisi (Tsintskaladze *et al.*, 2017). Zeolit banyak digunakan saat ini sebagai matriks pupuk karena memiliki sifat termal yang baik sehingga dapat mengurangi suhu akibat peningkatan panas (Joshi *et al.*, 2023). Selain itu, zeolit juga mampu menstabilkan tanah yang ada di sekitarnya sehingga mampu mengurangi pengendapan tanah (Huang *et al.*, 2017).

Zeolit merupakan mineral dengan komponen utama berupa tetrahedral silika (SiO_4) dan alumina (AlO_4) yang saling terikat dengan ion oksigen membentuk struktur dua dimensi dan tiga dimensi membentuk struktur kristal berongga yang beraturan (Margeta dan Anamarija, 2020). Struktur berpori inilah yang menjadi landasan dari matriks pupuk *slow release*. Pupuk *slow release* dengan matriks zeolit dapat dibuat dari bahan dasar abu sekam padi (Pungki *et al.* 2017). Ini karena abu sekam padi mampu menghasilkan Silika (SiO_2) sebesar

94,4% dari berat total abu (Folletto, 2006). Silika inilah nanti yang akan digunakan sebagai bahan dasar pembuatan zeolit.

Selain matriks, terdapat komponen pengikat seperti kitosan dan alginate yang seringkali digunakan untuk mengikat nutrisi yang akan ditambahkan ke dalam matriks pupuk *slow release* (Leonardi *et al.*, 2021). Nutrien yang ditambahkan ke dalam pupuk *slow release* disebut dengan filler. Filler nutrisi inilah yang ditambahkan ke dalam pupuk *slow release* untuk memenuhi kebutuhan nutrisi pada tanaman salah satunya adalah ion besi (Fe) (Uexkull & Fairhurst, 1999). Ion besi (Fe) penting bagi tanaman karena berperan sebagai faktor katalis dalam reaksi oksidasi maupun reduksi pada proses respirasi dan fotosintesis tanaman (Balk dan Schaedler, 2014). Kekurangan ion besi akan menyebabkan tanaman mengalami cacat tumbuh (Hansen *et al.*, 2006). Namun, ion besi hanya dibutuhkan dalam jumlah yang sedikit karena kelebihan ion besi akan menimbulkan toksisitas pada tanah maupun tanaman (Connolly dan Guerinot, 2002). Sehingga pupuk *slow release* sangat efektif digunakan untuk memenuhi kebutuhan ion besi bagi tanaman.

Dari latar belakang tersebut, efektivitas dan efisiensi pada pemupukan tanaman diperlukan untuk mengoptimalkan penyerapan nutrisi oleh tanaman sehingga dapat meningkatkan produksi dan kualitas tanaman. Oleh karena itu, pupuk *slow release* telah terbukti mampu memberikan efektivitas yang lebih baik dibandingkan dengan pupuk komersial untuk memenuhi nutrisi tanaman serta mengurangi dampak lingkungan karena pemupukan. Maka, penelitian ini diusulkan dengan judul “Pengaruh Variasi Konsentrasi Besi (Fe^{3+}) Dalam

Komposit Zeolit Alam-Kitosan dan Zeolit Sintesis-Kitosan Terhadap Performanya Sebagai Pupuk *Slow release*". Penelitian ini dilakukan dengan 4 tahapan yaitu sintesis matriks pupuk *slow release* berupa zeolit sintesis, karakterisasi matriks pupuk *slow release*, pembuatan komposit pupuk *slow release* dan uji adsorpsi serta desorpsi komposit pupuk *slow release*. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi solusi dalam pemenuhan mikronutrien tanaman dengan tetap memperhatikan keberlanjutan lingkungan sekitar dengan memanfaatkan mineral bahan alam yang ada di lingkungan sekitar.

B. Batasan Masalah

Batasan identifikasi masalah, maka batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Abu sekam padi yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari limbah pertanian yang diperoleh dari Bantul, Yogyakarta.
2. Zeolit alam yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari daerah Klaten, Yogyakarta
3. Metode sintesis zeolit dari penelitian ini menggunakan metode hidrotermal.
4. Perbandingan natrium silika dan natrium alumina dalam pembuatan zeolit sintesis adalah sebesar 1:1.
5. Konsentrasi ion besi (Fe^{3+}) yang ditambahkan pada komposit adalah sebesar 20, 40, 60, 80, dan 100 ppm.
6. Karakterisasi zeolit dilakukan dengan menganalisis gugus fungsi menggunakan instrumen *spektroskopi Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) dan menggunakan instrumen *Surface Area Analyzer* (SAA).

7. Studi mengenai daya desorpsi pupuk *slow release* dilakukan dengan perendaman asam sitrat pada selang waktu 0,5, 1, 2, 12, dan 24 jam. Kemudian dilakukan analisis kadar Fe^{3+} menggunakan Spektrofotometer UV-Vis.

C. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakterisasi zeolit alam dan zeolit sintesis sebagai matriks pupuk *slow release*?
2. Bagaimana mekanisme pelepasan Fe^{3+} dalam komposit pupuk *slow release*?
3. Bagaimana pengaruh konsentrasi Fe^{3+} terhadap sistem komposit zeolit-kitosan terhadap penyerapan dan pelepasan Fe^{3+} dari komposit.

D. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui karakterisasi zeolit alam dan zeolit sintesis sebagai matriks pupuk *slow release*?
2. Mekanisme mekanisme pelepasan Fe^{3+} dalam komposit pupuk *slow release*.
3. Mengetahui pengaruh konsentrasi Fe^{3+} terhadap sistem komposit zeolit-kitosan terhadap penyerapan dan pelepasan Fe^{3+} dari komposit.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan informasi pemanfaatan zeolit sebagai matriks dalam pembuatan pupuk dengan mekanisme *slow release*.

2. Memberikan informasi kepada pembaca mengenai pupuk *slow release* dengan komposit zeolit sebagai alternatif pemberian mikronutrien kepada tanaman yang ramah lingkungan dan dapat mengurangi pencemaran lingkungan.



BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Spektrum inframerah zeolit alam memperlihatkan puncak serapan yang teridentifikasi pada bilangan gelombang 437, 465, 694, 778, 796, 1039, 3435, dan 3580 cm^{-1} . Spektrum inframerah zeolit sintesis memperlihatkan puncak serapan yang teridentifikasi pada bilangan gelombang 433, 459, 662, 687, 994, 1104, 1653, 3473 cm^{-1} . Zeolit sintesis memiliki luas permukaan sebesar $8,27867\text{ m}^2/\text{g}$ dan zeolit alam memiliki luas permukaan sebesar $6,07987\text{ m}^2/\text{g}$. Volume pori total zeolit sintesis sebesar $0,0295142\text{ cm}^3/\text{g}$ dan zeolit alam sebesar $0,0172711\text{ cm}^3/\text{g}$. Selain itu, ukuran rata-rata pori pada zeolit sintesis adalah $7,13019\text{ nm}$, lebih besar dibandingkan zeolit alam yaitu $5,68139\text{ nm}$. Zeolit sintesis memiliki porositas yang lebih tinggi yaitu $98,18\%$ sedangkan zeolit alam memiliki porositas $91,94\%$ dengan struktur yang lebih berongga dan lebih luas dalam penyimpanan nutrisi sebagai matriks pupuk lepas lambat.
2. Nutrien akan lebih lambat terlepas pada komposit yang memiliki matriks dengan permukaan dan porositas yang lebih tinggi. Pelepasan Fe^{3+} paling stabil berdasarkan sifat lepas lambatnya berada pada penambahan 40 ppm .

3. Semakin tinggi konsentrasi Fe^{3+} yang ditambahkan kedalam komposit maka semakin banyak Fe^{3+} yang dapat diserap dan dilepaskan oleh komposit.

B. Saran

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut terkait matriks zeolit sintesis dengan variasi campuran silika dan alumina.
2. Diperlukan lebih banyak uji validasi total pelepasan total ion logam yang dapat dilepaskan oleh komposit zeolit menggunakan spektroskopi serapan atom.

DAFTAR PUSTAKA

- Aguado, J., Serrano, D. P., Escola, J. M., and Peral, A. (2009). Catalytic Cracking of Polyethylene Over Zeolite Mordenite with Enhanced Textural Properties. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 85(1-2), 352-358.
- Agustina, L. (2011). Unsur Hara Mikro I (Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo, dan Cl): manfaat kebutuhan Kahat dan Keracunan. Program Pasca Sarjana UNIBRAW.
- Ardhi, T. N. S. (2017). *Sintesis zeolit ZSM-5 menggunakan metode hidrotermal dan kristalisasi fasa padat*. ITS Press
- Arnelli, Solichah, F., Alfiansyah., Suseno, A. dan Astuti, Y. (2017). Sintesis Zeolit dari Abu Sekam Padi menggunakan Metode Hidrotemal :Variasi Waktu dan Temperatur. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. 20(2), 58-61.
- Aziz, I., Nurbayati dan Rahman, R. (2012). Penggunaan zeolit alam sebagai katalis dalam pembuatan biodisel. *Jurnal Valensi*. 2(4), 511-515.
- Bakri. (2008). Komponen kimia dan fisik abu sekam padi sebagai SCM untuk pembuatan komposit semen. *Jurnal Parennial*. 5(1), 9-11.
- Balk, J. & Schaedler, T. A. (2014). Iron cofactor assembly in plants. *Annu. Rev. Plant Biol*. 65, 125–153.
- Bandyopadhyay, A., Sarkar, M. D dan Bhowmick, A. K. (2006). Structure-property relationship in sol-gel derived polymer/silica hybrid slow release composites prepared at various pH. *Journal of Materials Science*. 1-8.
- Betriani, R. (2018). Sintesis Zeolit/NPK Terlapis Alginat-PVA-Glutaraldehyd Sebagai Material Pupuk Lepas Lambat. Skripsi. Departemen Kimia FMIPA UGM, Yogyakarta
- Bunaciu, A. A., Aboul-Enein, dan S., Fleschin, S. (2010). Application of fourier transform infrared spectrophotometry in pharmaceutical drugs analysis, *Appl. Spectrosc. Rev*. 24, 206-219. <https://doi.org/10.1080/00387011003601044>.
- Connolly, E.L. and Guerinot, M.L. (2002). Iron stress in plants. *Genome Biology* 3 (8), 1021-1024.
- Derosa, M. C., Monreal, C., Schnitzer, M., Walsh, R dan Sultan, Y. Slow release technology in fertilizers. *Nat. Slow release technol*. 5, 91-91.

- Dur, S. (2018). Utilization of zeolites for water filtering. *Jurnal Matematika dan Terapan*. 4(2), 45-55.
- Fathyr Rahman, M., Taufiq, A., Widiastuti, D. dan Hidayat, F. D. F. (2020). Sintesis dan karakterisasi silika gel dari abu tongkol jagung sebagai adsorben ion logam Cu(II). *Jurnal Kartika Kimia*. 3(2), 89-95.
- Febrina, L dan Astrid, A. (2015). Studi penurunan kadar besi (Fe) dan Mangan (Mn) dalam air tanah menggunakan saringan keramik. *Teknologi*. 7(1), 35-44.
- Folletto, E. L., Ederson, G., Leonardo, H. O., Sergio, J. (2006). Conversion of rice hull ash into sodium silicate. 9(3), 335-338.
- Foroughi, M., Salem, A., & Salem, S. (2021). Characterization of phase transformation from low grade kaolin to zeolite LTA in fusion technique: Focus on quartz melting and crystallization in presence of NaAlO₂. *Materials Chemistry and Physics*. 258. 123892.
<https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.123892>.
- Galarneau, A., Mehlhorn, D., Guenneau, F., Coasne, B., Villemot, F., Minoux, D., Aquino, C., & Dath, J. P. (2018). Specific Surface Area Determination for Microporous/Mesoporous Materials: The Case of Mesoporous FAU-Y Zeolites. *Langmuir : the ACS journal of surfaces and colloids*, 34(47), 14134–14142. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.8b02144>.
- Gong, Y., Chen, X dan Wu, W. (2024). Application of fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy in sample preparation: Material characterization and mechanism investigation. *Advances in Sample Preparation*. 11,1-8.
- Gunanjar. (1997). *Spektrofotometri Serapan Atom*. Diktat Keahlian Analisis Kimia Bahan Bakar Nuklir. Batam.
- Handayani, P. L., Nurjanah, E dan Rangga, W. D. (2015). Pemanfaatan limbah sekam padi menjadi silika gel. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*. 4(2), 55-59.
- Hanipa, P., Pardoyo., Taslimah., Arnelli., Astuti, Y. (2017). Pengaruh variasi waktu hidrotermal terhadap sintesis dan karakterisasi slow release kristal zeolit A dari abu sekam padi. *Jurnal kimia sains dan aplikasi*. 20(2),79-83.

- Hansen, N. C., Hopkins, B. G., Ellsworth, J. W. & Jolley, V. D. (2006). in *Iron Nutrition in Plants and Rhizospheric Microorganisms*. Barton L. L dan Abadia. Springer. Dordrecht. 23–59.
- Hastuti, E. 2011. Analisis Difraksi Sinar X TiO₂ dalam Penyiapan Bahan Sel Surya Tersentisasi Pewarna. *Jurnal Neutrino*. 4(1), 93-100.
- Huang, R., Gao, M dan Liu, J. (2017). Effects of soil conditioners on aggregate stability in a clay loam soil: a comparison study of iomass ash with other four conditioners. *Soil Sci. Plant Anal*. 48, 2294-2313.
- Ismagilov, Z.R., Shikina, N.V., Mazurkova, N.A., Tsikoza, L.T., Tuzikov, F.V., Ushakov, V.A., Ishchenko, A.V., Rudina, N.A., Korneev, D.V., dan Ryabchikova, E.I. (2012). Synthesis of Slow release scale TiO₂ and Study of the Effect of Their Crystal Structure on Single Cell Response. *The Scientific World Journal*. 498345-498359.
- Ishman, S. N., Permana, M. D., Firdaus, M. L dan Eddy, D. R. (2020). Extraction of Silica from Bengkulu Beach Sand using Alkali Fusion Method. *PENDIPA J. Sci. Educ*. 4(2), 1-5.
- Jiang, J., Gu, X., Feng, L., Duanmu, C., Jin, Y., Hu, T dan Wu, J. (2012). Controllable Synthesis of Sodalite Submicron Crystals and Microspheres from Polygorskite Clay Using a Two-Step Approach. *Powder Technology*. 298-303
- Jumaeri. (2015). Pemanfaatan zeolit dari abu sekam padi dengan aktivasi asam untuk menurunkan kesadahan ari. FMIPA. 150-159.
- Khaleque, A., Alam, M. M Hoque, M. (2020). Zeolite synthesis from low-cost materials and environmental applications: A review. *Environ Advances*. 2. doi: 10.1016/j.envadv.2020.100019.
- Kiranti, A. (2022). Sintesis pupuk lepas lambat (slow release fertilizer) dengan biochar sebagai matriks untuk tanaman bawang merah (*Allium ascalonium*). Skripsi. Universitas Jambi.
- Kuzma, J dan Verhage, P. (2006). *Slow release technology in agriculture and food production, anticipated application*. Project on Emerging Slow release technology. Washington.
- Lee, J. D. (1991). *Concise Inorganic Chemistry*. Chapman and Hall. London.
- Leonardi, M., Caruso, G. M., Carroccio, S. C., Boninelli, S., Curcuruto, G., Zimbone, M., Allegra, M., Torrisi, B., Ferlito, F., &

- Miritello, M. (2021). Smart slow release composites of chitosan/alginate slow release particles loaded with copper oxide as alternative slow release fertilizers. *Environmental Science: Slow release* , 8(1), 174–187
- Listiana, I., Bursan, R., Widyastuti, R. A. D., Rahmat, A dan Jimad, H. (2021). Pemanfaatan limbah sekam padi dalam pembuatan arang sekam di Pekon Bulurejo kecamatan Gadingrejo kabupaten Pringsewu. *Intervensi Komunitas: Jurnal Pengabdian Masyarakat*. 3(1), 1-5.
- Lowry, G. V., Avellan, A dan Gilbertson, L. M. (2019). Opportunities and challenges for slow release technology in the agri-tech revolution. *Nat. Slow release technol.* 14, 517-522.
- Madzokere, T. C., Murombo, L. T., & Chiririwa, H. (2020). Slow release -based slow releasing fertilizers for enhanced agricultural productivity. 45(3), 3709-3715. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.674>
- Margareta, K dan Anamarija, F. (2020). *Zeolites-New Challenges*. Intech Open London. United Kingdom.
- Maula, F., Haris, A. dan Subaer. (2015). Sintesis Zeolit dari Abu Sekam Padi Sebagai Absorben Karbon Monoksida (CO) Kendaraan Bermotor. *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*. 11(8), 259-265.
- Mehraban P., Zadeh, A.A. & Sideghipour, H.R. (2008). Iron toxicity in rice (*Oryza sativa* L.), under different potassium nutrition. *Asian Journal of Plant Science* 7, 251-259
- Mortvedt, J. J. (1991). *Micronutrient Fertilizers and Fertilization Practices. Fertility and Fertilizers*.
- Nuraeni, E., Kartina, K., dan Susiyanti, S. (2020). Pengaruh pemberian beberapa konsentrasi pupuk majemuk berteknologi slow release terhadap pertumbuhan dan hasil tiga varietas tanaman bawang merah (*Allium ascalonicum* L.). *Jurnal Agroekoteknologi*. 12 (1)(7), 110–120.
- Perez, J. J dan Francois, N. J. Chitosan-starch beads prepared by ionotropic gelation as potential matrices for controlled release of fertilizers. *Carbohydr Polym.* 148, 134-142.
- Pimsen, R., Porrawatkul, P., Nuengmatcha, P., Ramasoot, S., & Chanthai, S. (2021). Efficiency enhancement of slow release of fertilizer using slow release zeolite–chitosan/sago starch-based biopolymer composite. *Journal of Coatings Technology and Research*. 18(5), 1321–1332.

- Pratapa, S. (2009). Difraksi Sinar-X untuk Sidikjari dalam Analisis Slow release struktur. Prosiding Seminar Nasional Hamburan Neutron Dan Sinar-X Ke 7. 7, 1-5.
- Pungki, H., Pardoyo, Taslihmah, Arnelli, dan Astuti, Y. (2017). Pengaruh variasi waktu hidrotermal terhadap sintesis dan karakterisasi slow release kristal zeolit A dari abu sekam padi. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. 20(2), 79-83.
- Purwanti, A. (2024). Pemanfaatan abu hasil gasifikasi sekam padi menjadi silika gel. Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XIX Tahun 2024 (ReTII). 307-312.
- Qur'ainia, A., Karlitasari, L., Maryana, S., Sudrajat, C dan Zolla. (2023). Identifikasi defisiensi unsur hara pada tanaman cabai menggunakan *support vector machine*. *J-ICON*. 11(1), 62-67. 10.35508/jicon.v11i1.9803.
- Raliya, R., Sahara, V., Dimkpa, C dan Biswas, P. (2018). Slow release Fertilizer for Precision and Sustainable Agriculture: Current State and Future Perspectives. *J. Agric. Food Chem.* 66,6487-6503.
- Ramdhani, k., Sjamsiah, Putriani, Adawiyah, S. R. (2023). Pemanfaatan Zeolit Sodium Dodecyl Benzene Sulfonate (Zeolit-Sdbs) Dari Abu Sekam Padi Sebagai Adsorben Logam Timbal (Pb). *ALCHEMY: JOURNAL OF CHEMISTRY*. 11(1), 50-55.
- Raturoma, R. K., Mangallp, B dan Langsa, M. H. (2021). Komposit kitosan-abu sekam padi sebagai pupuk lepas lambat Fe^{2+} dan Mn^{2+} . *Jurnal Natural*. 17(2). 97-103.
- Sapei, L., Padmawijaya, K. S., Sutejo, A. dan Theresia, L. (2015). Karakterisasi silika sekam padi dengan variasi temperatur lecting menggunakan asam asetat. *Jurnal Teknik Kimia*. 9(2), 38-43.
- Saputra, A. T., Wicaksono, M. A dan Irsan, I. (2018). Pemanfaatan minyak goreng bekas untuk pembuatan biodiesel menggunakan katalis zeolit alam teraktivasi. *Journal Chemurg*. 1(2),1.
- Sastra, R. A., Adiarto, T., Prasetyo, A. B., Darmokoesoemo, H dan Putri, D. I M. (2023). Pemanfaatan slow release kitosan sebagai coating agent dalam pembuatan pupuk NPK berbasis control release fertilizer. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*. 20(3), 195-199.
- Secha, M., Abdi, C., dan Syarief, A. (2019). Penggunaan jenis zeolit dalam penurunan kadar Fe air sungai menggunakan kolom adsorpsi. *JTAM Teknik Lingkungan ULM*. 2(1), 41-48.

- Selvia, M., Fahrialam, A., Wijaya, L. A., Karunianti, A. R dan Waenada, I. W. (2021). Studi karakteristik zeolit di Yogyakarta serta pemanfaatannya sebagai builder agent untuk memproduksi deterjen ramah lingkungan. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*. 22(4), 189-196.
- Sembiring, S dan Simanjuntak, W. (2015). *Silika Sekam Padi: Potensinya sebagai Bahan Baku Keramik Industri*. Plantaxia. Yogyakarta.
- Seseray, D. Y dan Santoso, B. (2013). Produksi rumput gajah (*Pennisetum purpureum*) yang diberi pupuk N, P dan K dengan dosis 0,50 dan 100% pada defoliasi hari ke-45. *Jurnal Penelitian Ilmu Peternakan*. 11(1), 49-55.
- Siska, S. D., Mahatmanti, F. W dan Widiarti, N. (2018). Sintesis dan karakterisasi zeolit dari abu sekam padi menggunakan metode hidrotermal. *Indo. J. Chem. Sci.* 7(1), 87-93.
- Solikha, D. F. Penentuan kadar tembaga (II) pada sampel menggunakan spektroskopi serapan atom (SSA) perkin erlmer analyst 100 metode kurva kalibrasi. *Jurnal Ilmiah Indonesia*. 4(2), 1-11.
- Skinner B. J dan Appleman D.E. (1963). Melanophlogite, a cubic polymorph of silica. *American Mineralogist* **48**: 854–867.
- Sugito, Marliyan, S. D dan Apriana, H. D. (2022). Uji kinerja instrumen spektrofotometer serapan atom (AAS) shimadzu 6650 F terhadap logam Fe, Zn pada kegiatan praktikum kimia anorganik di UPT Laboratorium Terpadu UNS. *Indonesia Journal of Laboratory*. 5(2), 82-89.
- Sun, S., Shu, Q., Zhang, Q., Li, S., Zhu, G., Wang, C., Zhang, J., Li, H dan Huang, Z. (2024). A hydrothermal synthesis process of ZSM-5 zeolite for VOCs adsorption using desilication solution. *Separation*. 11(2), 39.
- Suseno, J. E., dan Firdaus, K. S. (2008). Rancang bangun spektroskopi FTIR (Fourier Transform Infrared) untuk penentuan kualitas susu sapi. *Berkala Fisika*. 11(2), 23-28.
- Syafriadi., Marhamah, S dan Muttakqii, M. A. (2021). Pengaruh variasi konsentrasi NaOH pada zeolit alam lampung terhadap produksi silika. *Jurnal Riset Teknologi Industri*. 15(2), 393-402.
- Szentirmai, V., Wacha, A., Nemeth, C., Kitka, D., Racz, A., Heberger, K., Mihaly, J dan Varga, Z. (2020). Reagent-free total protein quantification of intact extracellular vesicles by attenuated total reflection Fourier transform infrared (ATR-FTIR) spectroscopy.

- Anal. Bioanal. Chem.* 412, 4619-4628.
<https://doi.org/10.1007/s00216-020-02711-8>.
- Tiernan, H., Byrne, B., Kazarian, S. G. (2020). ATR-FTIR spectroscopy and spectroscopic imaging for the analysis of biopharmaceuticals, *Spectrochim. Acta A*.
<https://doi.org/10.1016/j.saa.2020.118636>.
- Tinker, P. B. (1976). Soil requirements of the oil palm. In R. H. V. Corley, J. J. Hardon, B. J. Wood (Ed.). *Oil palm Research. Elsevier Scientific Publishing Company*. 165 – 181.
- Trindade F dan politi, M. J. (2019). Sol-gel Chemistry-deals With Sol-Gel Processes, Slow release Designn for Smart Gels. 15-34.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814825-9.00002-3>
- Tsintskaladze, G., Eprikashvili, L., Mumladze, N., Gabunia, V., Sharashenidze, T., Zautashvili, M., Kordzakhia, T., & Shatakishvili, T. (2017). Nitrogenous zeolite slow release material and the possibility of its application in agriculture. *Annals of Agrarian Science*. 15(3), 365–369.
- Uexküll, B. H. R. Von, & Fairhurst, T. H. (1999). Some Nutritional Disorders in Oil Palm. *Better Crops International*. 13(1), 16–21.
- Utomo, P dan Yunita, I. (2014). *Sintesis Zeolit Dari Abu Sekam Padi Pada Temperatur Kamar*. Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta.
- Warsito, S., Sriatun, dan Taslimah. (2008). Pengaruh Penambahan Surfaktan Cetyltrimethylammonium Bromide (N-CTAB) pada Sintesis Zeolit- Y. Seminar Tugas Akhir S1 Tidak Diterbitkan. Semarang: Jurusan Kimia UNDIP.
- Weitkamp, J. (2000). Zeolites and catalysis. *Solid State Ionic*. 131, 175-188.
- Widyastuti H., E. Guharja, N. Sukarno, L.K. Darusman, D.H. Goenadi, dan S. Smith. (2003). Arsitektur akar bibit kelapa sawit yang diinokulasi beberapa cendawan mikoriza arbuskula. *Menara Perkebunan*. 71(1), 28 – 43.
- Wu C, Ye Z, Li H, Wu S, Deng D, Zhu Y, Wong M. (2012). Do radial oxygen loss and external aeration affect iron plaque formation and arsenic accumulation and speciation in rice. *Journal of Experimental Botany*. 63 (8): 2961-2970.
 DOI:10.1093/jxb/ers017.
- Yamagata, A., Murata, Y., Namba, K., Terada, T., Fukai, S., & Shirouzu, M. (2022). Uptake mechanism of iron-

phytosiderophore from the soil based on the structure of yellow stripe transporter. *Nature Communications*, 13(1).

Zulichatun, S., Wijayanti, A., Hidayah, N., Marfina, A., Pranata, Y. A., Nurbaeti, L., Rahayuningsih, N. D. (2015). Analisis Luas Permukaan Zeolit Alam Termodifikasi Dengan Metode BET Menggunakan Surface Area Analyzer (SAA). Universitas Negeri Semarang.

